УДК 681.51:537.528

С.С. Козырев, Л.Е. Овчинникова
Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
г. Николаев, Украина
Украина, 54025, г. Николаев, пр. Героев Сталинграда, 9
Институт импульсных процессов и технологий НАН Украины,
г. Николаев, Украина
Украина, 54025, г. Николаев, пр. Октябрьский, 43 А

Использование нейросетевых регуляторов в адаптивных системах управления электрогидроимпульсными установками

S.S. Kozyryev, L.E. Ovchynnikova
National University of Shipbuilding named after admiral Makarov, c. Mikolaiv, Ukraine
Ukraine, 54025, c. Mikolaiv, pr. Geroiv Stalingrada, 9
Institute of pulse processes and technologies NAS of Ukraine, c. Mikolaiv, Ukraine
Ukraine, 54018, c. Mikolaiv, pr. Oktiabrskii, 43 A

Use of Neural Network Controllers in Adaptive Control Systems of Electropulse Installations

С.С. Козирєв, Л.Є. Овчиннікова
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв, Україна
Україна, 54025, м. Миколаїв, пр. Героїв Сталінграда, 9
Інститут імпульсних процесів і технологій НАН України, м. Миколаїв, Україна
Україна, 54025, м. Миколаїв, пр. Жовтневий, 43 А

Використання нейромережних регуляторів в адаптивних системах керування електрогідроімпульсними установками

Разработана адаптивная система управления электрогидроимпульсными установками на основе нечетких моделей с использованием нейросетевого регулятора для коррекции параметров функций принадлежности и динамического синтеза базы правил при работе объекта управления в условиях неопределенности внешних возмущений.
Ключевые слова: адаптивная система управления, электрогидроимпульсные установки, нечеткие модели, нейросетевой регулятор.

The adaptive automated control system based on fuzzy-logic is developed for the electropulse installations. The neuronet controller is used for membership function parameters correction in the process of operation. Also, a rule base is dynamically synthesized using a neuron network.
Key words: adaptive control system, electropulse installations, fuzzy models, neuronet controller.

Розроблено адаптивну систему керування електрогідроімпульсними установками на основі нечітких моделей з використанням нейромережного регулятора для корекції параметрів функцій приналежності та динамічного синтезу бази правил при роботі об’єкта керування в умовах невизначеності зовнішніх збурень.
Ключові слова: адаптивна система керування, електрогідроімпульсні установки, нечіткі моделі, нейромережний регулятор.

Постановка задачи

Электрогидроимпульсные установки (ЭГУ) являются техническим средством для реализации электровзрывного преобразования энергии в канале подводного высоковольтного разряда, возникающего между электродами или электродом и изделием в технологических устройствах, и используются как источник концентрированного, дозированного воздействия в заданных локальных объемах с высокими удельными энергетическими показателями для технологической обработки материалов и изделий [1].

Процесс формирования и расширения канала разряда в жидкости имеет стохастический характер и требует учета его статистических характеристик, которые зависят от параметров разрядного контура и параметров среды, изменяющихся в процессе работы. На этапе технологической обработки непредсказуемо изменяется длина разрядного промежутка в процессе движения электрода над изменяющейся поверхностью обработки при разрядах на обрабатываемый объект. Непредсказуемый рельеф обрабатываемой поверхности образуется в результате разрушения формовочных смесей при очистке отливок и случайных изменений формы измельчаемых негабаритов. Изменяются также параметры рабочей среды за счет загрязнения продуктами разряда. Таким образом, при работе электрогидроимпульсных установок возникают неопределенности, которые невозможно спрогнозировать. Управление объектами такого класса, которые работают в условиях неопределенности параметров среды и возмущающих воздействий, не может быть обеспечено традиционными методами и требует применения элементов искусственного интеллекта для создания современных интеллектуальных систем управления.

Цель работы – создание адаптивной системы управления электрогидроимпульсными установками (ЭГУ) на основе нечетких моделей с использованием нейросетевого регулятора (НСР) для коррекции параметров функций принадлежности и динамического синтеза базы правил в зависимости от положения объекта управления в пространстве состояний при работе в условиях неопределенности внешних возмущений.

Построение адаптивной системы управления ЭГУ с НСР

Электрогидроимпульсная установка как объект управления относится к дискретно-непрерывным многомерным стохастическим нестационарным системам. Оператор соответствия между координатами входного и выходного векторов объекта и статистические характеристики информационных координат зависят от положения в пространстве состояний, т.е. от параметров разрядного контура, параметров среды и объектов обработки, которые могут непредвиденно изменяться в процессе выполнения технологических операций.

Анализ моделей, на основе которых синтезированы системы регулирования и стабилизации отдельных параметров процесса электровзрывного преобразования энергии [2], показал, что все они построены с использованием линеаризации передаточных функций объекта и описывают работу в окрестности точки номинального режима при определенных допущениях относительно возмущений. Учитывается только возмущение по координате l – длина разрядного промежутка, которое аппроксимируется линейной аддитивной функцией времени $\Delta l(t)$. Принятые допущения при построении моделей управления электровзрывным преобразованием энергии допустимы для очень узкого класса задач. Поэтому существующие модели управления не пригодны для использования при синтезе адаптивных систем управления, которые должны обеспечивать управляемость процесса электровзрывного преобразования энергии во всем

пространстве состояний. При синтезе адаптивных систем управления использованы нечеткие модели, построенные на основе экспериментальных баз данных методами fuzzy-аппроксимации [3]. Эти системы управления включают в себя нечеткие регуляторы (НР), обеспечивающие адекватную реакцию на случайные возмущения по координате $\Delta l(t)$ во всем пространстве состояний (рис. 1).

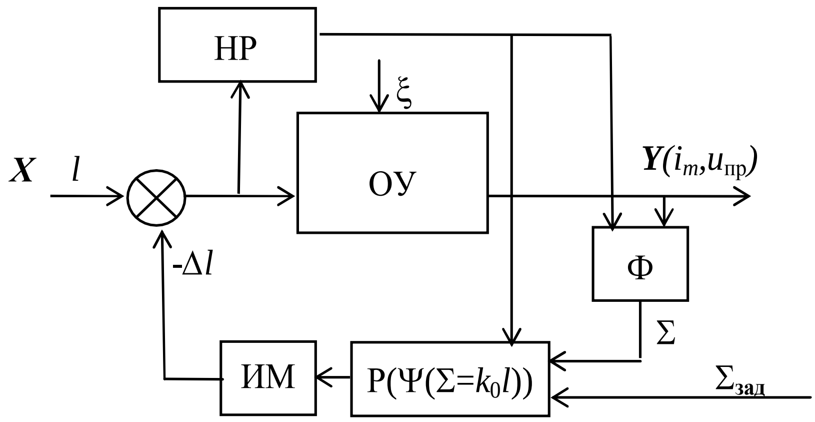


Рисунок 1

В реальных условиях существует значительно большее количество неучтенных возмущений, существенно влияющих на режим разряда. К таким возмущениям относится уменьшение удельного сопротивления жидкости ρ, в которой происходит высоковольтный электрический разряд, за счет загрязнения технологическими отходами, поглощения CO_2, повышения температуры. Скорость изменения ρ определяется интенсивностью режимов обработки. Производительность электрогидроимпульсных установок по очистке отливок, дроблению и измельчению негабаритов очень высока, поэтому при отсутствии систем регенерации технологической жидкости пренебрегать изменениями удельного сопротивления невозможно. В этом случае необходимо рассматривать дополнительную координату $\rho[t]$, которая влияет на оператор объекта управления и статистические характеристики информационных координат.

Это вызывает необходимость изменения значений коэффициентов блоков системы управления, области значений лингвистических переменных и функций принадлежности нечетких регуляторов и, как следствие, динамического синтеза базы правил.

Для решения указанных задач предлагается использовать преимущества нечеткой логики в сочетании с возможностями методов обучения нейронных сетей путем включения в систему управления нейросетевых регуляторов. Нейросетевой регулятор дает возможность решить проблему параметрического синтеза путем подстраивания параметров выбранных функций принадлежности нечетких регуляторов. Наиболее сложной операцией синтеза системы управления является формирование соответствующей базы правил. В существующих системах управления формирование базы правил выполняют в процессе проектирования на основании экспериментальных данных с использованием теории нечетких множеств и методов fuzzy-аппроксимации [4]. Задачу формирования базы правил можно переложить на нейронную сеть и формировать ее динамично в процессе работы, учитывая текущие значения параметров технологического процесса [5]. В таком случае структурно-параметрический синтез с помощью искусственной нейронной сети можно разбить на два этапа:

– первый – формирование функций принадлежности для каждого входа на основании метода статистической группировки с помощью нейросети;

– второй – оптимизация параметров функций принадлежности с использованием модификации генетического алгоритма, который обеспечивает получение различных

видов функций принадлежности в зависимости от значения текущих параметров технологического процесса и скорости их изменения.

На втором этапе синтеза используется такой тип функций активации нейронов нейрорегулятора, который обеспечивает получение различных видов функций принадлежности – гауссовскую, треугольную или трапециидальную, в зависимости от скорости изменения координат вектора состояния.

Структурная схема системы управления электрогидроимпульсными установками с нейросетевым регулятором (НРС) представлена на рис. 2.

Входными переменными являются координаты вектора состояния объекта управления (ОУ): $l(t)$ – длина разрядного промежутка, $\rho(t)$ – удельное сопротивление технологической жидкости, которые изменяются случайным образом под действием внешних возмущений.

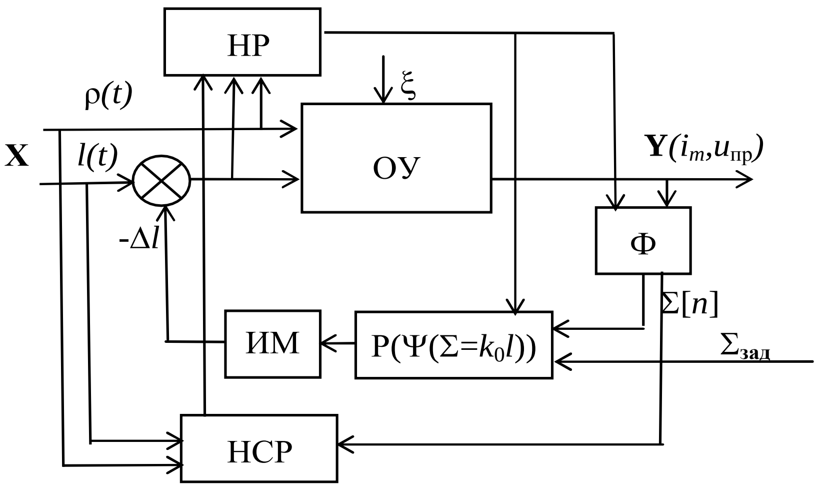


Рисунок 2

По результатам исследования статистических характеристик и корреляционных отношений координат выходного вектора в качестве информационной статистически эффективной координаты системы управления принято их линейную комбинацию [6]:

$$\Sigma[n] = i_m[n]+k\, u_{пр}[n] \,/\, i_m[n],$$

где $i_m[n]$ – амплитудное значение разрядного тока;

$u_{пр}[n]$ – напряжение пробоя разрядного промежутка.

На выходе нечеткого регулятора (НР) в соответствии с базой правил синтезируются сигналы коррекции коэффициентов устройства оценки информационной координаты (Ф – адаптивный фильтр), а также сигналы коррекции зоны нечувствительности релейной функции Ψ и передаточного коэффициента k_0 регулятора (Р), которые зависят от дисперсии σ^2_Σ информационной координаты $\sum[n]$ и базы правил, сформированной нейросетевым регулятором (НСР), которые, в свою очередь, определяются положением объекта в пространстве состояний. Исполнительный механизм (ИМ), получив сигнал с регулятора (Р), изменяет управляющую координату $l[t]$, замыкая отрицательную обратную связь по выходной координате $\sum[n]$.

Для динамичного формирования базы правил и корректировки параметров и вида функций принадлежности нечеткого регулятора в зависимости от значения координат вектора состояния и скорости их изменения в процессе работы используется нейросетевой регулятор (НСР) [7]. НСР построен на использовании искусственной нейросети с обратным распространением сигнала. На первом этапе построения функций принадлежности использование алгоритма кластеризации данных позволило с

помощью полученных функций принадлежности перекрыть только те области, где в текущий момент размещены данные, и тем самым эффективно распределить ресурсы нейронной сети. В процессе обучения при синтезе базы правил используется функция обратного распространения сигнала, с помощью которой желаемый выход передается в сеть. Для синтеза правил используется алгоритм конкурентного обучения. После процесса обучения весы соединений определяют существование соответствующих правил. Приоритетными являются соединения с большим значением веса. При оптимизации параметров функций принадлежности полученная база правил остается неизменной, нейронная сеть в данном случае распространяет сигнал только в прямом направлении. Выбор для оптимизации модифицированного параллельного генетического алгоритма при увеличении количества оптимизируемых параметров не приводит к усложнению оптимизационного алгоритма и позволяет осуществить синтез регулятора при отсутствии аналитической зависимости между параметрами регулятора и целевой функцией.

Выводы

Результаты исследования системы управления электрогидроимпульсными установками с нейросетевым регулятором показывают, что она позволяет увеличить точность поддержания траектории движения над обрабатываемой поверхностью, уменьшает перерегулирование и увеличивает быстродействие системы, в результате чего повышается производительность электрогидроимпульсных установок на 15 – 20%. Нейросетевой регулятор может настраиваться («обучаться») на различные режимы работы, вследствие чего повышается степень адаптивности системы управления к изменяющимся внешним воздействиям и параметрам среды.

Литература

1. Гулый Г.А. Научные основы разрядноимпульсных технологий / Гулый Г.А. – Киев : Наук. думка, 1990. – 208 с.
2. Управление электрогидроимпульсными процессами / [Вовк И.Т., Друмирецкий В.Б., Кривицкий Е.В., Овчинникова Л.Е.]. – Киев : Наук. думка, 1984. – 186 с.
3. Козырев С.С. Адаптивная система управления электроимпульсной установкой с использованием нечеткого регулятора / С.С. Козырев // Вестник Национального технического университета «ХПИ». – № 37/2006. – С. 92-100.
4. Козирєв С.С. Синтез адаптивної системи керування електровибуховим перетворенням енергії на основі інверсної fuzzy-моделі / С.С. Козирєв // Штучний інтелект. – № 4. – 2009. – С. 490-495.
5. Рутковская Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. – М. : Горячая линия – Телеком, 2004. – 452 с.
6. Вовк І.Т. Синтез моделі управління режимом високовольтного розряду в рідині / І.Т. Вовк, Л.Є. Овчиннікова, Н.С. Назарова, С.С. Козирєв // Збірник наукових праць УДМТУ. – Миколаїв. – 2000. – № 1 (367). – С. 128-136.
7. Круглов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика / В.В. Круглов, В.В. Борисов. – М. : Горячая линия – Телеком, 2002. – 382 с.

Literatura

1. Gulyj G.A. Nauchnye osnovy razrjadnoimpul’snyh tehnologij. Kyiv: Nauk. Dumka. 1990. 208 s.
2. Vovk I.T. Upravlenie jelektrogidroimpul’snymi processami. Kyiv: Nauk. Dumka. 1984. 186 s.
3. Kozyrev S.S. Vestnik Nacional’nogo tehnicheskogo universiteta “HPI”. № 37/2006. S. 92-100.
4. Kozyrev S.S. Shtuchnyj intelekt. №4. 2009. S. 490-495.
5. Rutkovskaja D. Nejronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy. M.: Gorjachaja linija. Telekom. 2004. 452 s.

6. Vovk I.T. Zbirnyk naukovyh prac' UDMTU № 1 (367). Mikolaiv. 2000. S. 128-136.
7. Kruglov V.V. Iskusstvennye nejronnye seti. Teorija i praktika. M.: Gorjachaja linija. Telekom, 2002. 382 s.

REZUME

S.S. Kozyryev, L.E. Ovchynnikova

The Use of Neural Network Controllers in Adaptive Control Systems of Electropulse Installations

Electropulse installations are technical means to implement electroexplosive energy conversion in the channel of underwater high-voltage discharge. The formation and expansion of the discharge channel in a liquid has a stochastic nature and requires consideration of its statistical characteristics. The characteristics depend on the parameters of the discharge circuit and the environmental parameters that change during operation. Controling objects of this class, which are operating under uncertain environment parameters and disturbances, cannot be provided by traditional methods and requires the use of artificial intelligence elements.

Electropulse installations as an object of control refer to discrete continuous multi-dimensional non-stationary stochastic systems. The operator of correspondence between the coordinates of the input and output vectors of the object and the statistical characteristics of the information coordinats depend on the situation in the state space. To solve these control problems, it is suggested using the advantages of fuzzy logic in conjunction with the possibilities of training methods of neural networks by integrating neural network controllers into control system.

The automated adaptive control system based on fuzzy-logic is developed for the electropulse installations. The neuronet controller is used for membership function parameters correction in a process of operation. Also, a rule base is dynamically synthesized using a neuron network. This allows to increase the accuracy of electrode trajectory on the treated surface, reduces the overshoot and increases system performance. As a result the productivity of electropulse installations is increased by 15 – 20%.

Статья поступила в редакцию 01.06.2012.